

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Aplikace metod technické diagnostiky na vybraných zařízeních

Application of methods technical diagnostics on selected devices

Student:

Tomáš Rádek

Vedoucí práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D

Ostrava 2019

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student:

Tomáš Rádek

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma:

Aplikace metod technické diagnostiky na vybraných zařízeních
Application of Methods Technical Diagnostics on Selected Devices

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce zvolte klíčová strojní zařízení a na ně aplikujte vhodné metody technické diagnostiky. Využijte vhodné metody a dostupné měřicí zařízení pro určování technického stavu strojních zařízení. V rámci bakalářské práce se zabývejte problematikou identifikace vznikajících závad. Změřená data analyzujte a proveďte následná vyhodnocení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Rozsah práce min. 35 stran textu.

Seznam doporučené odborné literatury:

CHLUMSKÝ, V., LIŠKA, A. *Kompresory*. SNTL Praha, 1982,ISBN 04-224-82

KOLARČÍK, K., KAMINSKÝ, J., PUMPRLA, O. *Kompresory*. 1.vydání. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA 2004, ISBN 80-248-0704-1

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6

ŠAFR, E. *Tribotechnika*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 300 s. 04-243-84

ŠAFR, E. *Technika mazání*. 2. dopl. vydání, SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1970. 381 s. ISBN 04-010-70

HRADECKÝ, F., VLK, M. *Tribotechnika*. 1. vydání, Praha: SNTL - Státní nakladatelství technické

literatury, 1984. 297 s.

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6

KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

PETRUŽELKA, J. *Ročníkový projekt. Jak psát bakalářskou práci* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 30. 6. 2009 [cit. 2018-12-11]. Dostupný z www: <URL: <https://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/346/cs/studium/studijni-literatura/Rocnikovy-projekt.pdf>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

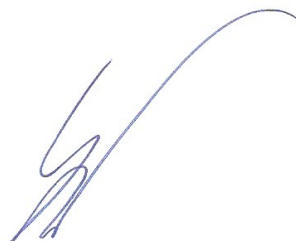
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry

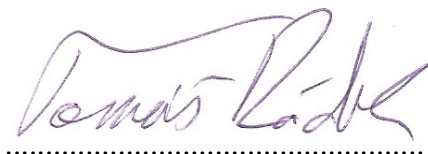


prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. května 2019

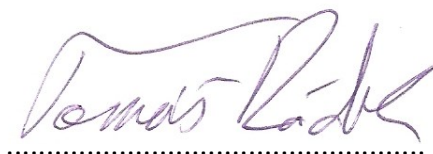
A handwritten signature in purple ink, reading "Petr Rádka", written over a dotted line.

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Tomáš Rádek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Dolní Životice, Hertice č.p. 18, 747 55

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval panu Ing. Janu Blatovi, Ph.D. za vstřícnost, trpělivost, cenné rady a věcné připomínky, které mi poskytl při vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat vedení a zaměstnancům společnosti Kotouč Štramberk – LB Cemix, s.r.o. za ochotu, poskytnutí informací a možnosti měření v jejich provozu. Také děkuji svým rodičům a blízkým za neustálou podporu a trpělivost, kterou se mnou měli během studia a tvorbě této práce.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

RÁDEK, T. *Aplikace metod technické diagnostiky na vybraných zařízeních*: bakalářská práce. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2019, 49s. Vedoucí práce: Ing. Blata, J. Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá diagnostice vibrací a termografické diagnostice vybraných zařízení, které se využívají ke zpracování vápence. Teoretická část se zabývá popisem vibrodiagnostiky, popis snímačů, volbou vhodných měřících míst a popisem termodiagnostiky. Praktická část práce se zabývá použitými měřícími přístroji, monitorováním a vyhodnocováním sledovaných parametrů. Dále následuje samotné měření vybraných strojních zařízení, které byly měřeny v provozu Kotouč Štramberk – LB Cemix, s.r.o. Ke každému měření je napsáno, o které zařízení se jedná, otáčky a výkon elektromotoru, tabulka naměřených hodnot, termografické snímky a vyhodnocení technického stavu strojního zařízení. Závěrem je napsáno celkové zhodnocení měření.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

RÁDEK, T. *Applicaion of methods technical diagnostics on selected devices*: Bachelor thesis. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VSB- Technical University of Ostrava, 2019, 49s. Thesis Head: Ing. Blata, J. Ph.D.

The bachelor thesis deals with the diagnostics of vibrations and thermographic diagnostics of selected devices used for limestone processing. The theoretical part deals with description of vibrodiagnostics, description of sensors, choice of suitable measuring points and description of thermodiagnosics. The practical part deals with used measuring instruments, monitoring and evaluation of monitored parameters. Then follows the measurement of selected machinery, which was measured in operation Kotouč Štramberk - LB Cemix, s.r.o. For each measurement, it is written which equipment is concerned, the speed and power of the electric motor, a table of measured values, thermographic images and an evaluation of the technical condition of the machinery. Finally, the overall evaluation of the measurement is written.

Obsah

1. Seznam použitých symbolů a zkratk	10
2. Úvod	11
3. Úloha údržby	12
4. Vibrodiagnostika	13
4.1 Základní veličiny vibrací	14
4.2 Časový signál	15
4.3 FFT – Fast Fourier Transformation (Rychlá Fourierova transformace)	16
4.4 Snímače vibrací	16
4.5 Volba vhodných měřících míst	17
5. Termodiagnostika	20
5.1 Vlastní chyba termokamery	21
5.2 Emisivita, odražená zdánlivá teplota a atmosféra	22
5.2.1 Emisivita	22
5.2.2 Odražená zdánlivá teplota	22
5.2.3 Atmosféra	22
6. Získání, zpracování a vyhodnocení naměřených dat	23
6.1 Použité měřící přístroje	23
6.2. Hodnocení vibračního měření	24
6.3 Volba měřících míst a směry	26
6.4 Hodnocení termodiagnostického měření	27
7. Vyhodnocení na jednotlivých vybraných zařízeních	28
7.1 Hala s kalcinační pecí a třasadlem	28
7.1.1 Strojní soustava Ventilátor 1	28
7.1.2 Strojní soustava Ventilátor 2	30
7.1.3 Pohon třasadla kalcinační pece	32
7.1.4 Strojní soustava Ventilátor 3	34
7.1.5 Kalcinační pec	37
7.2 Hala KTM	40
7.2.1 Elektromotor Sue355M6	40
7.2.2 Pohon drtiče	42
8. Závěr	46

9. Seznam použité literatury	47
10. Seznam obrázků a tabulek	48

1. Seznam použitých symbolů a zkratk

Značka	Význam	Jednotka
a	zrychlení vibrací	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$
f	frekvence	Hz
T	časová perioda	s
X	okamžitá výchylka vibrací	mm
X_{\max}	maximální výchylka vibrací	mm
\sin	goniometrická funkce sinus	-
π	Ludolfovo číslo	-
t	čas	s
ω	úhlová rychlost	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
X_{ave}	průměrná hodnota výchylky vibrací	mm
dt	derivace času	-
X_{RMS}	efektivní hodnota výchylky vibrací	mm
v	rychlost vibrací	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
dx	derivace okamžité výchylky vibrací	-
\cos	goniometrická funkce kosinus	-
V_{\max}	maximální výchylka vibrací	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
dv	derivace rychlosti	-
A_{\max}	maximální zrychlení vibrací	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$
	(Mezinárodní organizace pro normalizaci)	
FFT	Fast Fourier Transformation	
	(Rychlá Fourierova Transformace)	
RMS	Root Mean Square (efektivní hodnota)	

2. Úvod

Technická diagnostika je velmi důležitá součást života strojního zařízení. Z pohledu progresivní údržby a zvětšujícím se nárokům na produkci a jakost výroby se firmy snaží udržovat technické zařízení v provozuschopném stavu, za účelem dosažení co nejlepších nákladů.

Vibrodiagnostika slouží k odhalení závady, která způsobuje vibrační signál. Tento vibrační signál je zpracován pomocí zařízení určených ke vyhodnocení měřeného signálu. Závadu, která může souviset se zanedbanou údržbou lze poté určit ze získaných frekvenčních spekter. Po vyhodnocení je tedy možné poruchu opravit nebo obměnit dané strojní zařízení .

Zjištěné závěry jsou následně doplněny termografickými snímky. Tyto snímky jsou pořízeny termokamerou. Mohou ukazovat na problémy se zvýšenou teplotou, které může způsobovat stejná závada, jako u vibračního měření. Termodiagnostikou můžeme podpořit data získané při měření vibrací a lépe určit závažnost problémů a jeho velikost. Vibrodiagnostika a termodiagnostika zažívá v poslední době významný rozvoj, jak na straně zvětšení přesnosti měření tak na straně zmenšování chyb přístrojů.

Cílem této bakalářské práce je zjištění technického stavu za pomoci vibrodiagnostiky a termodiagnostiky na vybraných zařízeních ve firmě Kotouč Štramberk – LB Cemix, s.r.o. Hlavní část práce se zabývá měřením zařízení, analýzou a vyhodnocením získaných dat, na jejichž základě je proveden návrh řešení dané problematiky.

3. Úloha údržby

Základní podmínkou pro určení zbytkové životnosti a prodloužení provozní spolehlivosti je znalost vývoje opotřebení. Je to využívání metod technické diagnostiky, které se řadí mezi nedemontážní (tj. Vibrodiagnostika, tribodiagnostika a termodiagnostika), respektive metody, které mohou probíhat za provozních podmínek [1], [2].

Údržbu lze rozdělit podle těchto hledisek:

- Z hlediska strategie údržby:
 - **PREVENTIVNÍ ÚDRŽBA** – Provádí se v pravidelných intervalech bez ohledu na skutečný technický stav stroje. Slouží ke snížení pravděpodobnosti možných poruch.
 - **PROAKTIVNÍ ÚDRŽBA** – Hledání příčin poruchy na základě dříve získaných zkušeností.
 - **PREDIKTIVNÍ ÚDRŽBA** – (předpovídaná údržba) předpovídá vývoj stavu zařízení z informací, které můžeme získat pomocí metod technické diagnostiky (vibrodiagnostika, tribodiagnostika, termodiagnostika)
- Z hlediska obsahu:
 - **NEZÁVISLÁ ÚDRŽBA** – udržování stroje v akceschopném stavu – základní mazání, čištění a ošetřování.
 - **OPRAVY** – obnovení požadovaného stavu, odstranění následků po opotřebení.
 - **KONTROLNĚ INSPEKČNÍ A REVIZNÍ ČINNOST** – odborné kontroly, technická diagnostika a prohlídky vybraných zařízení.
- Z hlediska vývoje:
 - **ÚDRŽBA PO PORUŠE** – cílem je uvést porouchaný stroj zpět do provozu. Provádí se až po poruše.
 - **OKAMŽITÁ ÚDRŽBA PO PORUŠE** – provádí se ihned po poruše, aby nedošlo k devastujícím následkům.
 - **ROZVRHOVÁ ÚDRŽBA** – provádí se na základě stanoveného plánu.
 - **ÚDRŽBA NA DÁLKU** – provádí se bez přímého přístupu pracovníků údržby k porouchanému stroji.

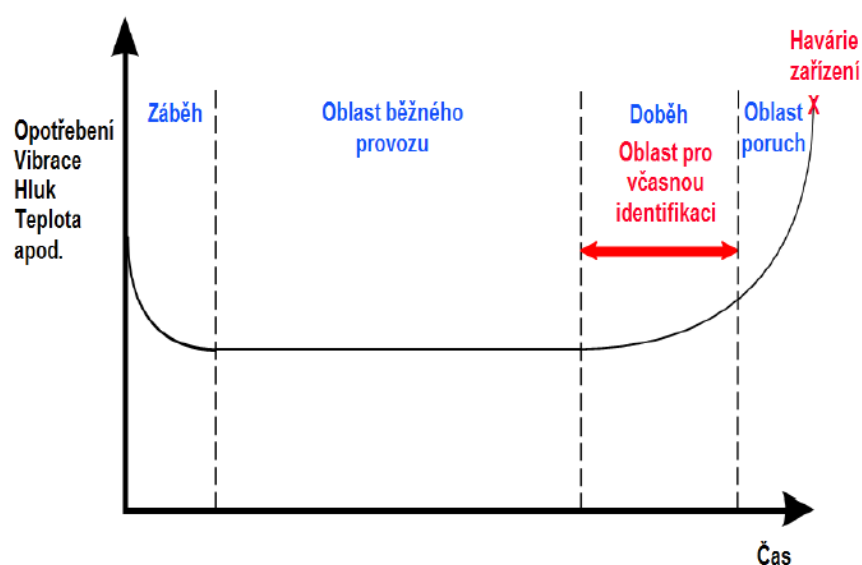
4. Vibrodiagnostika

Provoz všech točivých strojů jako jsou elektromotory, čerpadla, kompresory, turbíny, ventilátory a mnoho dalších je provázen mechanickým chvěním. Vyhnout se mechanickému chvění v provozní praxi je téměř nemožné. Jako zdroj informací o technickém a provozním stavu strojního zařízení nám slouží vibrace, které mohou být vyvolány [3], [4], [5], [6], [7]:

- Nevývahou součástí s rotačním, kmitavým, kyvným a vratným pohybem
- Nesouosostí hřídelí
- Poškozením ložisek
- Špatným mazáním ložisek
- Poškození ozubených kol
- Zadíraní rotoru apod.

Vibrace můžou vyvolat rezonanci okolních součástek, tak se stát zdrojem dalšího mechanického chvění a také hluku.

Vibrodiagnostika využívá právě jako diagnostického parametru vibrace, které patří mezi prvotní znaky změn provozního stavu rotujících součástí. Každý rotační strojní systém i v perfektním stavu má určitou hladinu vibrací. Časový průběh vibrací v průběhu života strojního systému je představován tzv. „Vanovou křivkou“.

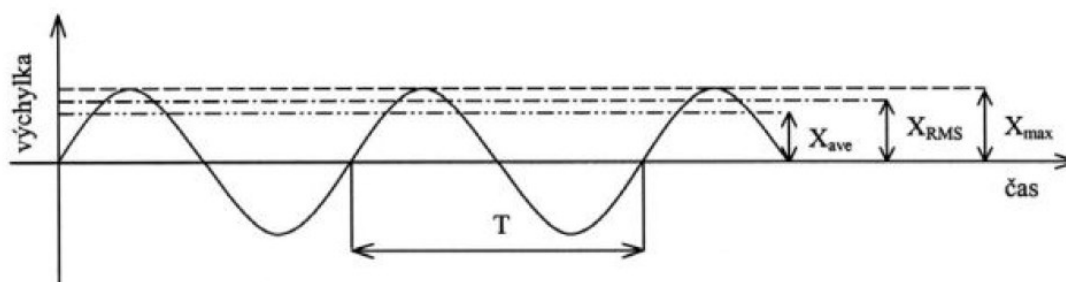


Obr. 1 Průběh Vanové křivky [5]

Cílem vibrodiagnostiky je zjistit technický stav strojního zařízení, popřípadě lokalizovat místo budoucí vady. Díky této metodě můžeme sledovat stroje a zařízení bez odstavení, pod plným provozním zatížením a naplánovat odstávku strojního zařízení a také objednat potřebné díly, které jsou již za svou životností.

4.1 Základní veličiny vibrací

Základní veličiny jako je okamžitá výchylka, rychlost a zrychlení vibrací lze zapsat pomocí matematické vazby, díky čemuž jsme schopni určit navzájem jednotlivé hodnoty. Tyto veličiny mají sinusový charakter a vycházejí ze základních parametrů mechanického kmitání.



Obr. 2 Příklad harmonického kmitání se znázorněním maximální amplitudy, střední kvadratické a absolutní hodnoty [4]

Frekvence kmitání:

$$f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]} \quad (1.0)$$

Okamžitá výchylka:

$$x = X_{max} \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{t}{T}\right) = X_{max} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) = X_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t) \text{ [mm]} \quad (1.1)$$

Střední absolutní hodnota:

$$X_{ave} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |x| \cdot dt \text{ [mm]} \quad (1.2)$$

Střední kvadratická hodnota:

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T x^2 \cdot dt} \text{ [mm]} \quad (1.3)$$

$$X_{RMS} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \cdot X_{ave} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot X_{max} \cong 0,7071 \cdot X_{max} \text{ [mm]} \quad (1.4)$$

Rychlost vibrací:

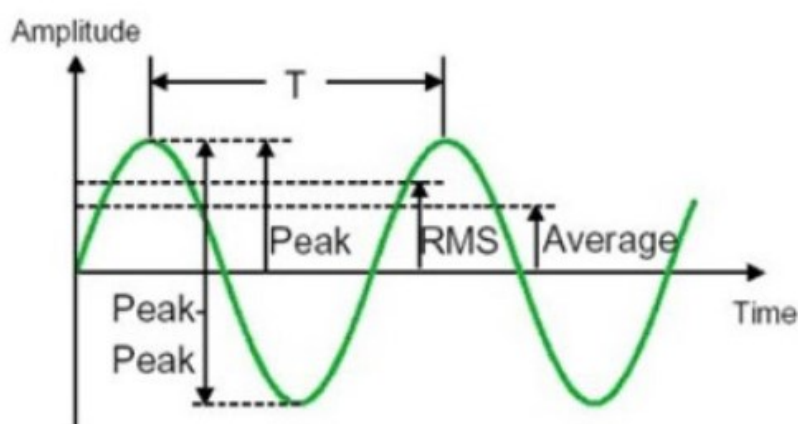
$$v = \frac{dx}{dt} = \omega \cdot X_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = V_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = V_{max} \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ [mm} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1.5)$$

Zrychlení vibrací:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 \cdot X_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t) = -A_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t) \\ = A_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \pi) \text{ [mm} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (1.6)$$

4.2 Časový signál

Časté výrazy používající se u měření vibrací:

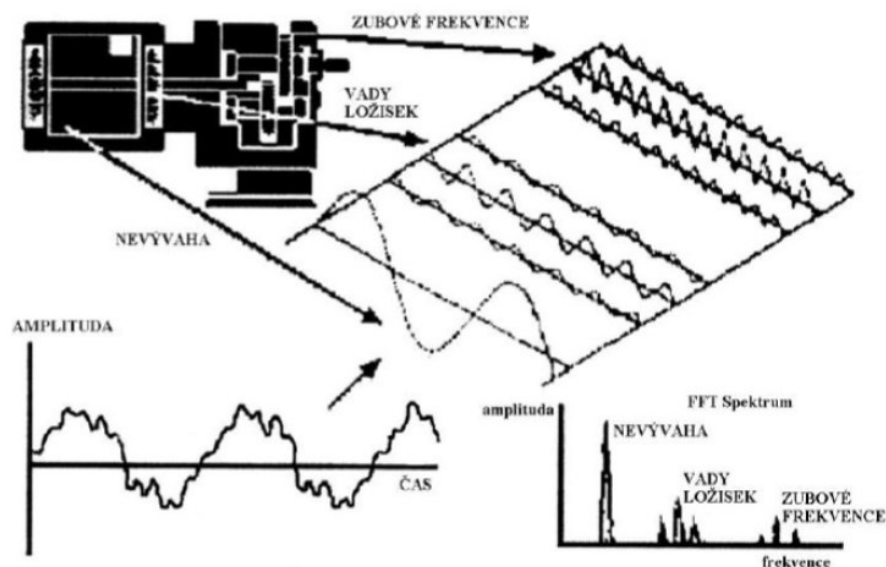


Obr. 3 Znázornění časového signálu [3]

RMS	efektivní hodnota obsahující informace o výkonu kmitání
Peak	(špička) je maximální výchylka vlny
Peak-Peak	(špička-špička) vzdálenost mezi nejvyšším a nejnižším vrcholem vlny ($2 \cdot X_{max}$)
Average	(průměr) je průměrná střední hodnota ($0,637 \cdot X_{max}$)
Overall	(celkové vibrace) je číslo, reprezentující množství energie obsažené v pásmu mezi dvěma frekvencemi.

4.3 FFT – Fast Fourier Transformation (Rychlá Fourierova transformace)

Rychlá Fourierova transformace je nejpoužívanější analytická metoda. Tato metoda vyhledává periodické děje v průběhu měření vibračního signálu, které potom zobrazí v daném souřadném systému. Frekvenční spektrum můžeme nazvat souřadný systém, kde na ose y je výchylka a na ose x frekvence. U časového průběhu se na ose y nachází výchylka a na ose x čas. Pomocí frekvenčního analyzátoru je signál zaznamenán, analyzován a zobrazen ve formě tabulek a grafů. Vibrační signál u strojů s rotačním pohybem je způsoben periodickými ději. Frekvenční rozklad se tedy jeví jako množství sinusových signálů s danou amplitudou a počáteční fází. Toto má velký vliv při určení technického stavu strojního zařízení.



Obr. 4 Ukázka Rychlé Fourierovi transformace [4]

4.4 Snímače vibrací

Snímače vibrací se používají pro měření mechanické výchylky vibrací a její převod na elektrickou veličinu, která se dále zesiluje a zpracovává. Pro rozdílné podmínky a aplikace jsou vytvořeny různé druhy snímačů vibrací, které se mohou lišit např. rozsahem frekvence, dynamickým rozsahem, přesností, citlivostí na teplotu, cenou atd.

Snímače výchylky – tzv. dotykové sondy, fungují na principu vířivých proudů v magnetickém poli. Vynikají zpravidla vysokou hmotností oproti nízké tuhosti a tlumení. Nevýhodou je citlivost v prostředí magnetického pole.

Snímače rychlosti – snímá absolutní vibrace, které vytváří napěťový signál přímo úměrný mechanické vibrační rychlosti tělesa. Pracuje na principu cívky kmitající vlivem vibrací v poli permanentního magnetu. Svou konstrukcí jsou složitější a mají větší hmotnost.

Snímače zrychlení – Nejpoužívanější snímače vibrací. Měřenou veličinou je zde zrychlení, které se dle potřeby dá převést na rychlost nebo výchylku vibrací. Princip je takový, že akcelerometr využívá piezoelektrický krystal, který při deformaci vytváří elektrický náboj odpovídající vibračnímu zrychlení stroje.

4.5 Volba vhodných měřících míst

Pro získání odpovídajících dat strojních zařízení je důležité nejenom použití vhodných snímačů a zařízení, ale také vhodný způsob uchycení. Toto způsob závisí na přístupnosti měřícího bodu, ale také na ekonomické a technické náročnosti. V případě špatného umístění mohou být výsledkem špatná data nebo podstatné zkreslení, což může mít katastrofální následky. Nesprávné umístění se nejvíce projeví při vysokých frekvencích.

Druhy připevnění snímačů:

- Pevný šroubový spoj
- Izolovaný šroubový spoj
- Přilepený tuhým lepidlem
- Přilepený měkkým epoxidem
- Připevněný permanentním magnetem
- Ruční sonda se snímačem

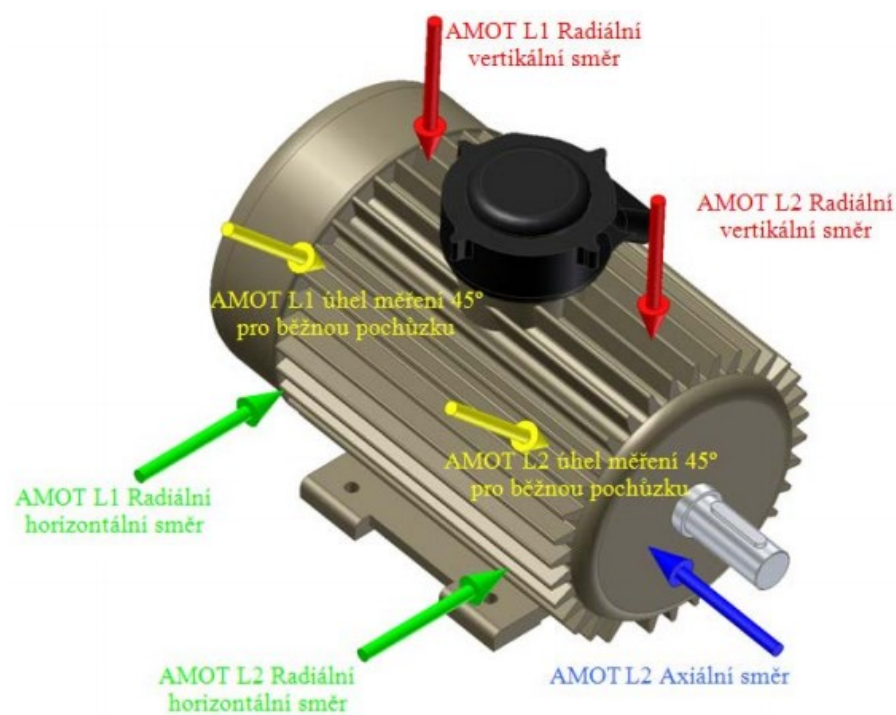
Prvním krokem, který by měl být proveden při monitorování stroje, je výběr vhodných měřících míst, tj. výběr míst, kde bude probíhat periodické měření vibrací. Tyto body jsou vybrány hlavně na místech, kde jsou síly přenášeny z rotoru na statorové části, obvykle na

ložiska. Vibrace zařízení v zásadě neměříme na plechových krytech nebo přechodech, ale přímo na materiálu, který je v kontaktu s ložiskem. Z tohoto důvodu je dobré znát konstrukci zařízení, resp. uložení ložisek ve strojním zařízení. Znalost konstrukce nám také pomůže při hledání příčiny vzniku závady. V opačném případě by mohlo dojít ke zkreslení měření vlivem přechodů mezi součástmi nebo materiály.

Měřicí body jsou obvykle připraveny tak, aby bylo zajištěno, že kvalifikované osoby mohou provést měření vždy na stejném místě. To znamená, že na stroj můžeme umístit podložky, kde se budou přikládat měřicí sondy nebo se na stroj připevní matky se závitem pro montážní šroub sondy. Snímače se v zásadě nesmí umísťovat na lakované nebo znečištěné povrchy. Nejdůležitější čistota dosedacích ploch je u přichycení snímačů pomocí magnetu. Zde může dojít ke zmagnetizování železných pilin z okolí a jejich přichycení ke snímači. Snímač také umísťujeme co nejbližší k místu vzniku vibrací, protože při šíření dochází k útlumu vibrací.

Podle potřeby můžeme na zařízení měřit jeden až tři směry. Jsou to horizontální, vertikální a axiální směr. V horizontálním směru obvykle bývá hodnota vibrací největší, protože stroj je v tomto směru nejpoddajnější. Je to způsobeno konstrukčním provedením. Měření v horizontálním směru je tedy dobrým ukazatelem nevyváženosti. V axiálním směru se nejčastěji objevují vibrace související s nesouosostí a ohnutým hřídelem.

Při měření a připevňování snímače je také nutné dbát na bezpečnost. Měření provádíme vždy v dostatečné vzdálenosti od rotujících hřídelí, nebo rotujících částí stroje a na vhodných a dostupných místech. Snímač vibrací umísťujeme vždy nejprve opatrně šikmo, posléze položíme rovně. Dáváme pozor, aby nedošlo k jeho poškození vlivem neopatrné manipulace. Na obr. 5 je znázorněno umísťování snímačů ve třech směrech. Žlutý směr se používá pouze pro rychlou pochůzkovou kontrolu, kterou používáme pro orientační kontrolu stavu zařízení.



Obr. 5 Možnosti umístění snímačů na motoru [7]

5. Termodiagnostika

Při využití termodiagnostiky se lze, jako při každém jiném měření v praxi, dopustit mnoha typů chyb. Tyto chyby mohou vést ke špatnému změření povrchové teploty nebo k nesprávným závěrům stanovených právě na těchto chybných měřeních. Aby byly výsledky i závěry správné je třeba počítat s některými faktory [8], [9], [10],[11]:

- Respektovat vlastní chybu termokamery, která je udávána výrobcem.
- Správně stanovit emisivitu, odraženou zdánlivou teplotu, vlastní vyzařování a útlum atmosféry.
- Dodržet správný postup měření, který zahrnuje i zjištění dostatečných informací o měřeném objektu.

Pro zjištění správných hodnot teploty je třeba v termokameře správně nastavit emisivitu, odraženou zdánlivou teplotu a parametry atmosféry. Každá termokamera má pro tento účel menu, které je podobné tomu, které vidíte na Obr. 6. Nebo lze snímky načíst do programu SmartView 4.3 kde můžeme hodnoty doplnit později. Teto program byl také využit při tvorbě této práce.



Obr. 6 Menu pro nastavení emisivity, odražené zdánlivé teploty a parametrů atmosféry [8]

5.1 Vlastní chyba termokamery

Termokamera, stejně jako ostatní přístroje určené k měření, vykazuje vlastní chybu naměřených hodnot. Hodnota této vlastní chyby se u většiny výrobců termokamer pohybuje v rozmezí $\pm 2^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\%$ z naměřených hodnot. Tato hodnota je považována za standard. Ovšem termokamery by v žádném případě neměly mít tento parametr horší než $\pm 5^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 5\%$ z naměřené hodnoty. Hodnoty $\pm 1^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 1\%$ z naměřené hodnoty se považují za špičkovou hodnotu. Takové termokamery mohou v současné době stát více než půl milionu korun.

Parametr vlastní chyby je udáván ve tvaru $\pm 2^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\%$ z naměřených hodnot, přičemž platí ten, který se jeví jako horší. Tuto problematiku lze dobře vysvětlit na tomto příkladu. Pokud měříme povrch o teplotě 20°C , je u termokamery s vlastní chybou $\pm 2^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\%$ z naměřených hodnot výsledná hodnota $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Na rozdíl od povrchu s teplotou 200°C bude výsledná hodnota $200 \pm 4^{\circ}\text{C}$ (2% z 200°C jsou 4°C , což je více než 2°C a platí tedy větší z obou hodnot). Lze tedy napsat, že konečný výsledek bude z intervalu (196°C , 204°C).



Obr. 7 Různé druhy termografických zařízení [9]

5.2 Emisivita, odražená zdánlivá teplota a atmosféra

Tyto parametry mohou výrazně ovlivnit kvalitu měření svým nepřesným nastavením. Parametr emisivity je nutné pro daný měřený povrch přesně stanovit. Je nutné zjistit teplotu zdánlivě odraženou a poslední parametr je působení atmosféry.

5.2.1 Emisivita

Hodnota tepelného záření, které je z povrchu měřeného předmětu vyzářeno záleží na teplotě předmětu, ale také na emisivitě. Emisivita nebo-li efektivita vyzařování. Čím se hodnota emisivity blíží číslu 1 tím více tepelného záření povrch při dané teplotě vyzáří. Při emisivitě rovné číslu 1 povrch vyzáří maximální množství tepelného záření. Toto je z fyzikálního hlediska možné vyzářit při dané povrchové teplotě pouze tzv. černé těleso a v praxi nejsme schopni této hodnoty dosáhnout.

5.2.2 Odražená zdánlivá teplota

Odražená zdánlivá teplota je vlastně okolní tepelné záření, které je odraženo od měřeného tělesa, konkrétně od lesklého povrchu. Toto odražené záření, které je odraženo od lesklého povrchu, nepříznivě ovlivňuje měření termokamerou svým dopadem na detektor kamery. Pro termokameru není možné rozlišit, zda se jedná o odražené záření, vyvolané vlivem tepla, nebo vlastní tepelné záření. Odražené zdánlivé záření tedy musíme zadat jako hodnotu do termokamery, aby mohla tento vliv kompenzovat.

5.2.3 Atmosféra

Atmosféra je z pohledu problematiky termodiagnostiky z těchto tří vlivů tím nejmenším problémem, jehož vliv (útlum tepelného záření, ale také vyzařování tepelného záření) lze s vysokou přesností kompenzovat po změření atmosférické teploty, atmosférické vlhkosti a vzdálenosti od měřeného objektu. Tyto informace poté zadáme do termokamery nebo do příslušného programového vybavení pro zpracování snímků.

6. Získání, zpracování a vyhodnocení naměřených dat

Praktická část této bakalářské práce je zaměřená technické diagnostice. Přesněji byly využity dva obory technické diagnostiky, a to vibrodiagnostika a termodiagnostika strojních zařízení. Toto diagnostické měření podstoupily tři ventilátory poháněny elektromotory, kalcinační pec a tři samostatné elektromotory různých otáček a výkonů. Bude zde uveden způsob měření, vyhodnocení spekter a termografických snímků, užití přístroje na měření, tabulky naměřených hodnot a výběr měřících míst. Byly provedeny celkově dvě měření 18. 3. 2019 a 7. 5. 2019 [10], [12].

6.1 Použité měřicí přístroje

Pro měření vibrací byl využit přístroj na měření vibrací včetně snímačů vibrací, který je vyráběn a vyvíjen firmou ADASH a.s. Jedná se o model ADASH VA4 PRO, který je přenosný a slouží k měření vibrací, který je založen na unikátní DSP (=Digital Signal Processing) desce vyvíjené firmou Adash. Provedené měření bylo v souladu s normou ČSN ISO 10 816-3.



Obr. 8 Přístroj na měření vibrací ADASH VA4 PRO [10]

Na termodiagnostiku resp. pořízení termografických snímků byla použita termokamera od firmy Fluke (FLUKE Ti55FT). Jedná se o termokameru, která je schopná fotit snímky s infračerveným i viditelným světlem a sloučit je dohromady. Což umožňuje zobrazit snímky v různých režimech. Od úplného infračerveného světla až po plné viditelné světlo.



Obr. 9 Přístroj na pořízení termografických snímků [autor]

6.2. Hodnocení vibračního měření

Na začátek je nutné napsat, že měření vibrací bylo provedeno v souladu s normou ČSN ISO 10 816-3. Pro měření vibrací ventilátorů a elektromotorů v provozu byl využit analyzátor vibrací ADASH VA4 PRO, včetně snímačů vibrací. Byly zde měřeny dvě veličiny. První veličinou je efektivní hodnota rychlosti vibrací (V_{RMS}), [mm/s]. Druhou veličinou u tohoto měření byla hodnota zrychlení vibrací (a_{RMS}), [g]. Pásma vibrací, hodnoty

doporučené normou a hodnoty doporučené vedoucím práce jsou uvedeny v Tabulce 1, Tabulce 2 a Tabulce 3.

Tabulka 1 Doporučené hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz dle ČSN ISO 10 816-3 [12]

Rozhraní pásem	Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s]
A/B	2,3 mm/s
B/C	4,5 mm/s
C/D	7,1 mm/s

Tabulka 2 Doporučené hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz pro drtič a pohon třasadla doporučené vedoucím práce

Rozhraní pásem	Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s]
B/C	50 mm/s
C/D	80 mm/s

Tabulka 3 Doporučené hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500-25000 Hz doporučené vedoucím práce

Rozhraní pásem	Efektivní hodnota zrychlení vibrací [g]
A/B	0,5 g
B/C	1,5 g
C/D	3 g

Podle zjištěných výsledků měření budou strojní zařízení (ventilátory, elektromotory) zařazeny do určitého pásma. Do tohoto pásma budou strojní zařízení zařazeny na základě doporučených hodnot normou ČSN ISO 10 816-3 a vedoucím práce. U V_{RMS} se jedná o pásma A/B od 2,3 do 4,4 mm/s, pásma B/C od 4,5 do 7 mm/s a posledního pásma C/D od 7,1 a více mm/s. U V_{RMS} (pro drtič a pohon třasadla) platí obdobné značení, pouze doporučené hodnoty se liší. Pro pásmo B/C od 50 do 79,9 mm/s a pro pásmo C/D od 80 a více mm/s. A naposledy u a_{RMS} platí stejné užití semaforu. A/B od 0,5 do 1,9 g, pásma B/C od 1 do 3,9 g a posledního pásma C/D od 4 a více g.

- 1) **Pásmo A/B:** V tomto pásmu obvykle leží vibrace nových strojních zařízení. Stroje, jejichž vibrace leží v tomto pásmu, mohou být z pravidla provozovány po neomezeně dlouhou dobu. Dostává se jim tedy časté a kvalitní údržby.

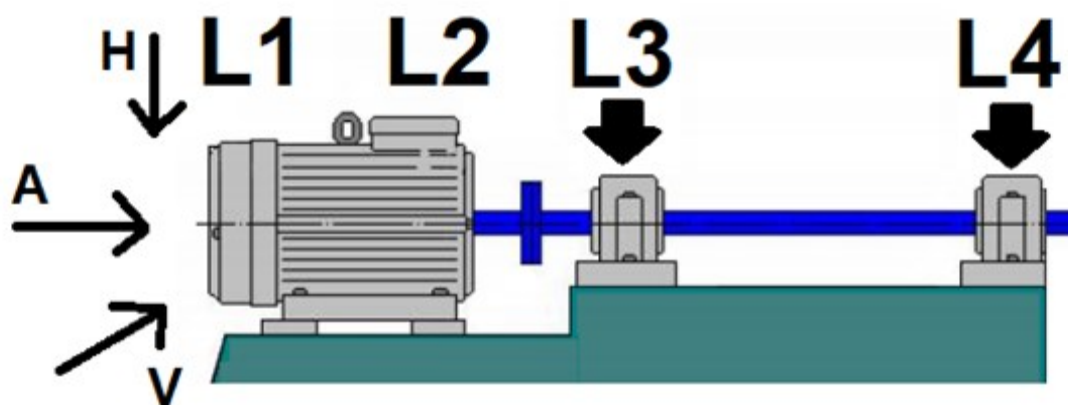
- 2) **Pásmo B/C:** V případě vyhodnocení vibrací strojního zařízení do tohoto pásma vyplývá, že stroje jsou za normálních okolností považovány za neuspokojivé pro dlouhodobý provoz. Z větší pravděpodobností mohou naměřené údaje poukazovat na vznikající problémy trvalejšího charakteru a na trvalejší poruchovost stroje. Takové stroje se dají obecně používat do doby naplánování odstávky a vyřešení problémů. Často se zde pomocí dat naměřených na hranici B/C dají určovat predikce havárií strojního zařízení.
- 3) **Pásmo C/D:** V případě vyhodnocení vibrací strojního zařízení do tohoto pásma vyplývá, že za normálních okolností jsou považovány za natolik nebezpečné, že mohou vyvolat rozsáhlá poškození strojního zařízení. V extrémních případech mohou tyto rozsáhlá poškození vyvolat fatální poškození stroje, havárii nebo dokonce ohrožení obsluhy stroje.

Nakonec bude vyhodnocen celkový stav vibrodiagnostického měření a celkový technický stav stroje rozdělen do tří hlavních kvalifikací:

VYHOVUJÍCÍ-ZHORŠENÝ-NEPŘIJATELNÝ

6.3 Volba měřících míst a směry

Na vybraných zařízeních jsem v rámci vibrodiagnostiky měřil maximálně čtyři měřící místa, kde se nacházela ložiska. Počet měřících míst se měnil v závislosti na konstrukci zařízení. U ventilátorů byl problém s krytováním, které sloužilo k ochraně hřídele a dalších částí stroje před vnějšími vlivy a také k ochraně zdraví obsluhy. Tyto kryty byly v průběhu měření odstraněny, aby bylo k ventilátorům možno přistoupit ze všech stran. U pohonu třasadla a drtiče už žádný problém s krytováním nebyl a byl zde volný přístup. Měřící body (L1 - L4) byly určeny na začátku a konci elektromotoru, po případě na ložiscích spojovacího hřídele. Měření vibrací probíhalo ve třech směrech (V-vertikální, H-horizontální, A-axiální). V tabulkách budou tyto směry uvedeny v pořadí (V, H, A). Na obrázku 10 lze vidět měřené směry vibrací a označení měřících míst.



Obr. 10 Pohled na měřené směry vibrací a měřící místa [autor]

6.4 Hodnocení termodiagnostického měření

Termografické snímky byly pořízeny prostřednictvím termokamery FLUKE Ti55FT. Jejich dodatečné zpracování bylo provedeno v programu SmartView 4.3. U následujících měřených strojních součástí budou uvedeny termografické snímky a také snímky s viditelným světlem. Více snímků bude uvedeno u zařízení se závadou. V počítačovém programu SmartView 4.3 pro konečné zpracování termografických snímků, bylo nutné nastavit emisivitu, teplotu okolního prostředí a přesnost. Emisivitu jsem zvolil v rozmezí 0,96 - 0,98 z důvodu všudypřítomného vápenného prachu, kterým byla pokryta většina strojních zařízení. Jednalo se o směs oleje a vápence. Teplota okolního prostředí byla 18°C a propustnost prostředí byla stanovena na 99%.

7. Vyhodnocení na jednotlivých vybraných zařízeních

V této části bakalářské práce budou popsány jednotlivá pracoviště a strojní zařízení na těchto pracovištích. Bude zde uvedena tabulka s naměřenými hodnotami a u zařízení se zjištěným problémem budou uvedeny spektra a termografické snímky. Podle zjištěných výsledků budou strojní zařízení zařazeny do jednotlivých pásem a bude vyhodnocen jejich celkový konečný stav [13].

7.1 Hala s kalcinační pecí a třasadlem

Jedná se o obří pec pro výrobu vápenných produktů. Proces výroby vápna sestává z výpalu uhličitanu vápenatého nebo hořečnatého za účelem uvolnění oxidu uhličitého a získání vzniklého oxidu vápenatého. V této hale byly měřeny tři ventilátory, pohon třasadla a pořízeny termografické snímky celé pece, za účelem zjištění stavu izolace. Výsledný oxid vápenatý se před dopravou z pece do sila obvykle drtí, mela a třídí. Ze sila se poté pálené vápno dodává konečnému uživateli.

7.1.1 Strojní soustava Ventilátor 1

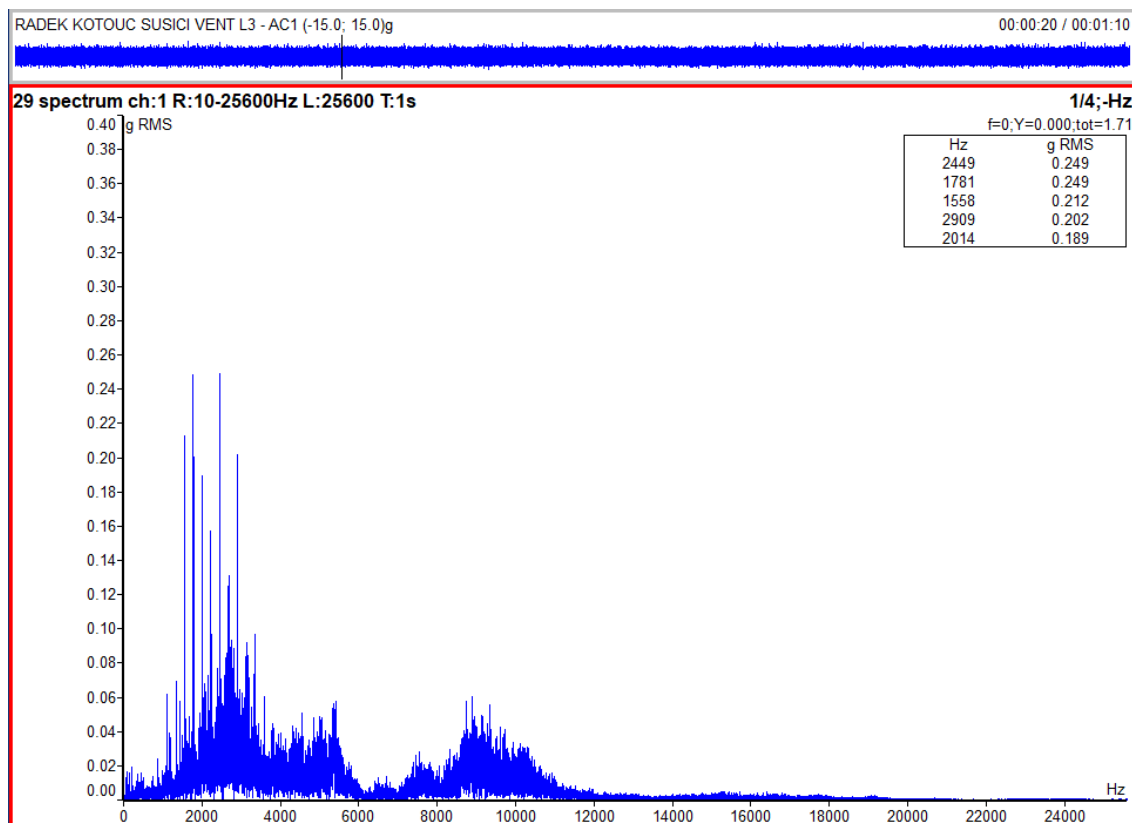


Obr. 11 Pohled na soustavu ventilátoru 1 [autor]

Jako pohon ventilátoru 1 slouží elektromotor weg 250M4 o výkonu 55kW a otáčkách 1475 ot/min. Soustava byla měřena 18.3.2019.

Tabulka 4 Naměřené hodnoty strojní soustavy ventilátoru 1 [autor]

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS})					
Popis		Motor		Spojovací hřídel	
Měřicí místo		L1	L2	L3	L4
Veličina	Směr				
Max. ot/min		1475		1475	
v_{RMS} [mm/s]	V	2,3	1,1	0,97	1,5
	H	1,4	1,1	1,3	1
	A	1,8	1,8	1,9	1,6
a_{RMS} [g] 500 – 25600 Hz	V	0,86	0,6	1,7	1,7
	H	0,4	0,8	0,87	0,96
	A	0,27	0,6	1,5	0,96
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží	se zátěží



Obr. 12 Spektrum zrychlení vibrací ložiska L3 [autor]

Ventilátor 1 - technický stav ZHORŠENÝ

Z tabulky naměřených hodnot můžeme vidět, že hodnoty motoru jsou vyhovující – tudíž se budeme zabývat pouze spojovacím hřídelem. Z tabulky naměřených hodnot můžeme vidět v místě L3 a L4 zvýšené hodnoty zrychlení vibrací. Tyto hodnoty jsou v pásmu C, kde je dlouhodobý provoz ložisek na spojovacím hřídeli neuspokojivý. Na Obr. 12 je vidět spektrum rychlosti vibrací ložiska L3 ve vertikálním směru, zde je možné pozorovat zvýšené hodnoty vibrací nad frekvencí 6000 Hz. Toto by poukazovalo na možný problém s mazáním a znečištěním maziva.

DOPORUČENÍ – Provést domazání ložisek a nadále sledovat trend zrychlení vibrací. V případě zvýšení zrychlení vibrací do pásma D provést výměnu ložisek L3 a L4 při příští odstávce.

7.1.2 Strojní soustava Ventilátor 2



Obr. 13 Pohled na soustavu ventilátoru 2 [autor]

Jako pohon ventilátoru 2 slouží elektromotor weg 112M-2 o výkonu 2,4kW a otáčkách 2890 ot/min. Soustava byla měřena 18.3.2019.

Tabulka 5 Naměřené hodnoty strojní soustavy ventilátoru 2 [autor]

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS})		
Popis		motor
Měřicí místo		L1
Veličina	Směr	
Max. ot/min		2890
v_{RMS} [mm/s]	V	1,3
	H	1,4
	A	0,75
a_{RMS} [g] 500 – 25600 Hz	V	0,1
	H	0,19
	A	0,11
Pozn.		se zátěží

Ventilátor 2 - technický stav VYHOVUJÍCÍ

Z tabulky naměřených hodnot strojní soustavy ventilátoru 2 zjistíme, že všechny uvedené hodnoty jsou vyhovující – celkový technický stav stroje je tedy považován za VYHOVUJÍCÍ. Stroje, které leží v tomto pásmu, mohou být zpravidla provozovány po neomezeně dlouhou dobu. Naměřené hodnoty zrychlení nám ukazují velmi nízké hodnoty. Z toho vyplývá, že ložiska by měly být bez výrazného poškození. Z důvodu VYHOVUJÍCÍHO stavu strojního celku neuvádím grafy frekvenčních spekter.

7.1.3 Pohon třasadla kalcinační pece

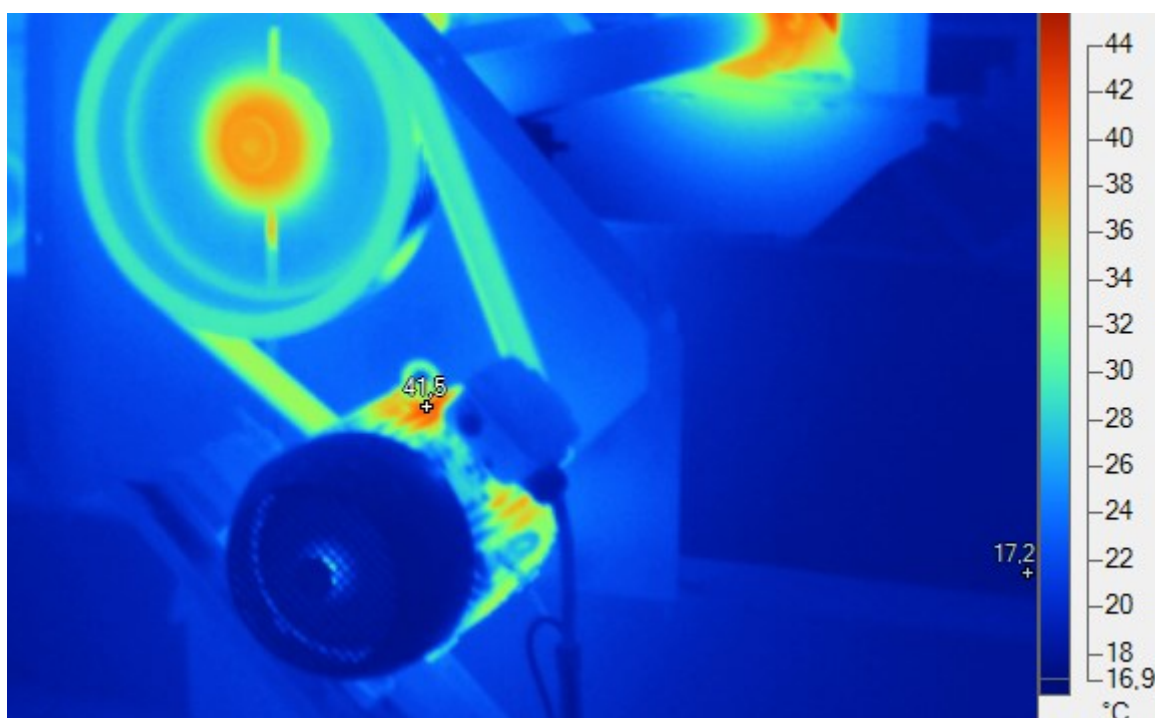


Obr. 14 Pohled na pohon třasadla kalcinační pece [autor]

Jako pohon pohonu třasadla slouží elektromotor weg 132M o výkonu 7,5kW a otáčkách 1465 ot/min. Vibrace soustavy byly měřeny 18.3.2019 a termografické snímky pořízeny 7.5.2019.

Tabulka 6 Naměřené hodnoty pohonu třasadla kalcinační pece [autor]

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS})				
Popis		motor		
Měřící místo		L1	L2	
Veličina	Směr			
Max. ot/min		1465		
v_{RMS} [mm/s]	V	11,4	6,3	
	H	7,5	7,7	
	A	23,6	25,1	
a_{RMS} [g] 500 – 25600 Hz	V	0,9	1	
	H	0,49	0,7	
	A	0,79	0,8	
Pozn.		se zátěží	se zátěží	



Obr. 15 Termografický snímek elektromotoru weg 132M-4 [autor]

Tabulka 7 Informace o termografickém obrázku (pohon třasadla) [autor]

Odražená zdánlivá teplota	27°C
Emisivita	0,96
Přenos	0,99
Teplota ovzduší	18°C
Relativní vlhkost	48%
Rychlost proudění vzduchu	do 0,5 m.s-1
Vzdálenost IR termokamery od objektu	do 1m

Pohon třasadla kalcinační pece - **technický stav VYHOVUJÍCÍ**

Vibrace elektromotoru a převodovky jsou v doporučených hodnotách. Vzhledem k tomu, že vibrace jsou ovlivněny pohybem celého zařízení, nelze je brát zcela za směrodatné. Přesto se nevyskytují v signálu děje, které by poukazovaly na problém technického rázu. Termografické snímky nevykazují žádné výkyvy teplot, které by mohly způsobovat poruchy stroje.

7.1.4 Strojní soustava Ventilátor 3

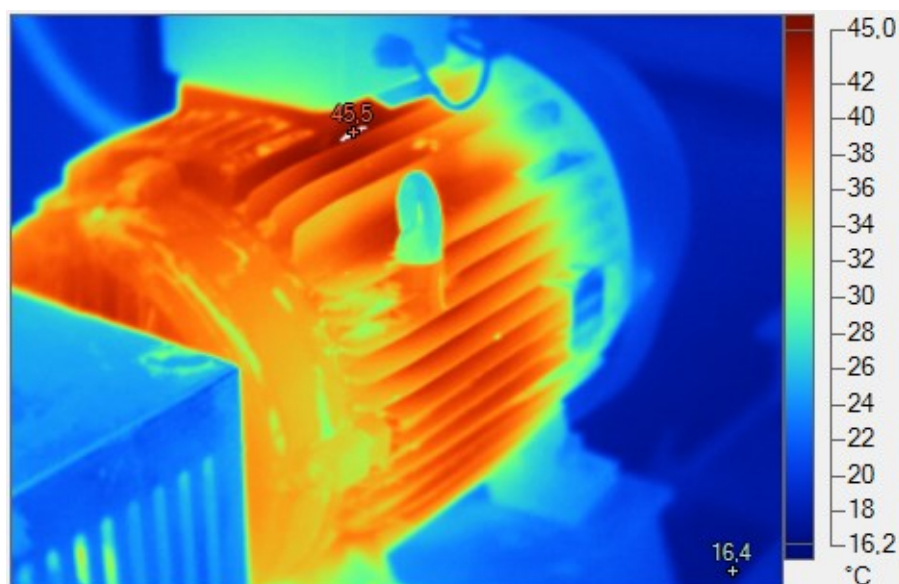


Obr. 16 Pohled na soustavu ventilátoru 3 [autor]

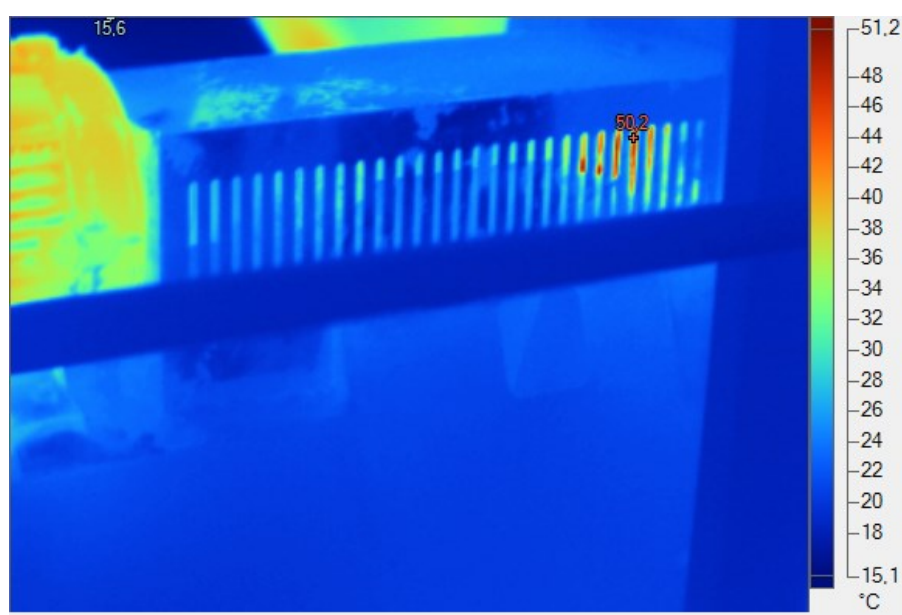
Jako pohon soustavy ventilátoru 3 slouží elektromotor weg 200L-2 o výkonu 30 kW a otáčkách 2965 ot/min. Vibrace soustavy byly měřeny 18.3.2019 a termografické snímky pořízeny 7.5.2019.

Tabulka 8 Naměřené hodnoty strojní soustavy ventilátoru 3 [autor]

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (v_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (a_{RMS})					
Popis		motor		Spojovací hřídel	
Měřicí místo		L1	L2	L3	L4
Veličina	Směr				
Max. ot/min		2965		2965	
v_{RMS} [mm/s]	V	21,7	19,4	17,3	13,6
	H	5	4,13	4,6	6,5
	A	4,2	5,8	4	4,3
a_{RMS} [g] 500 – 25600 Hz	V	0,37	0,62	0,58	2,4
	H	0,74	0,76	0,45	0,81
	A	0,36	0,4	0,63	0,8
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží	se zátěží



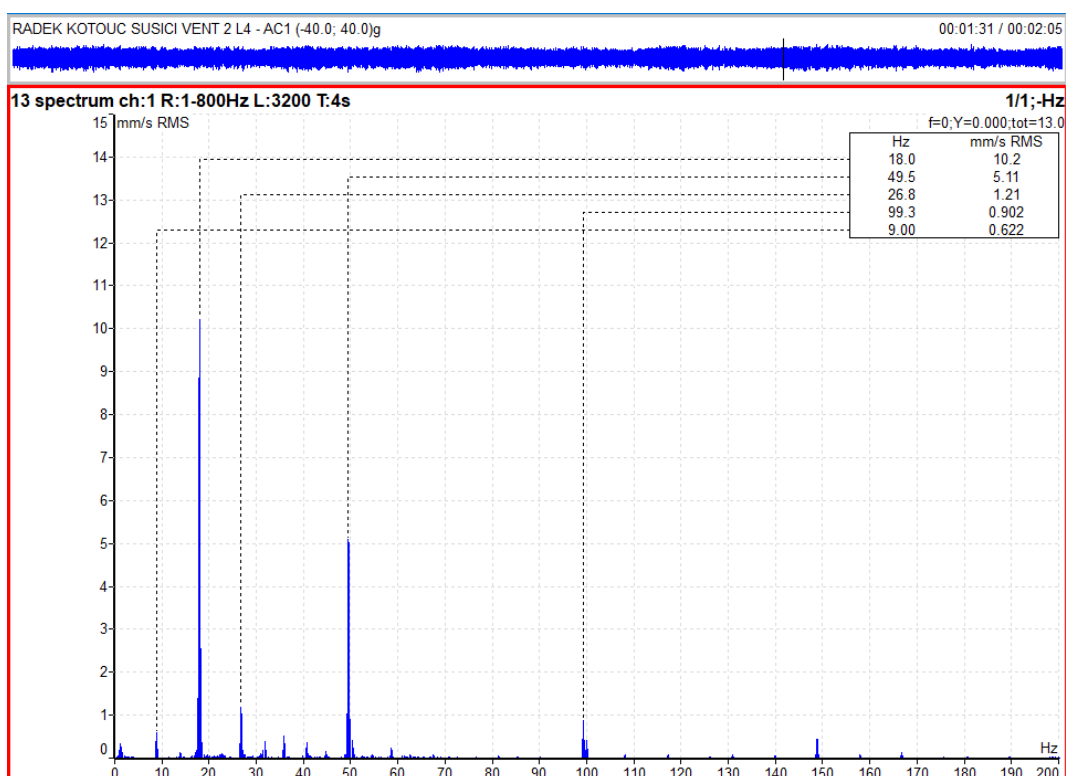
Obr. 17 Termografický snímek motoru ventilátoru 3 [autor]



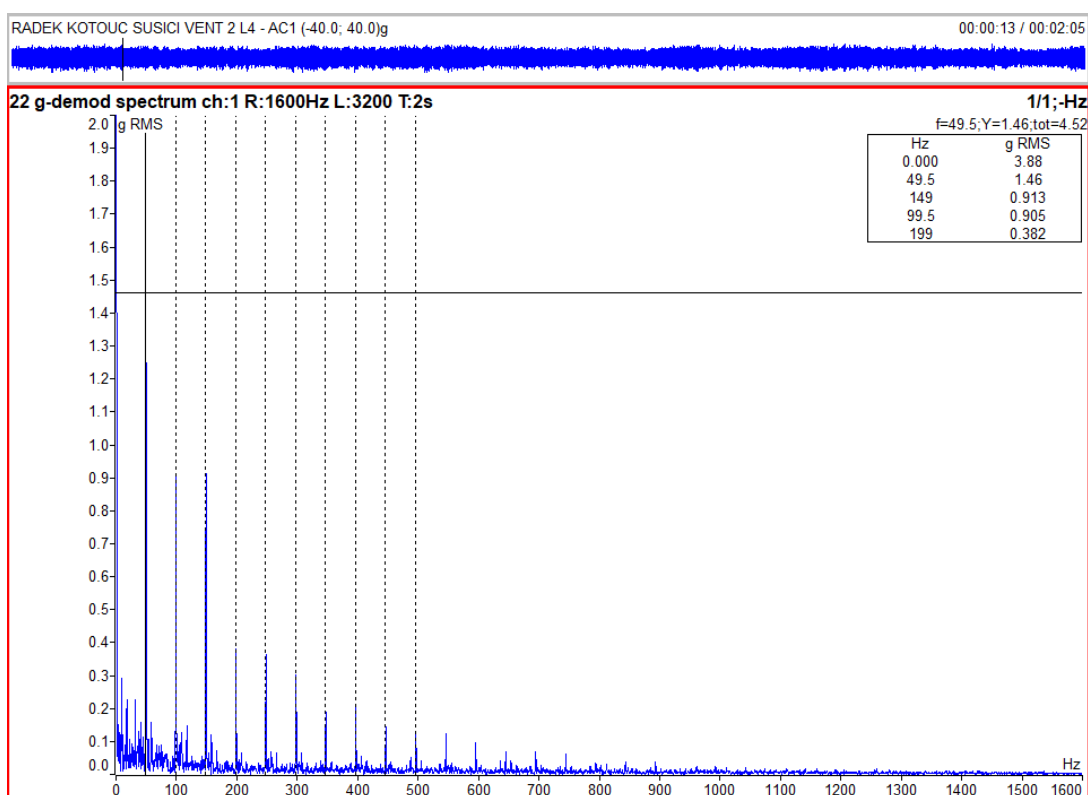
Obr. 18 Termografický snímek spojovací hřídele ventilátoru 3 [autor]

Tabulka 9 Informace o termografickém obrázku (ventilátor 3) [autor]

Odražená zdánlivá teplota	27°C
Emisivita	0,98
Přenos	0,99
Teplota ovzduší	18°C
Relativní vlhkost	48%
Rychlost proudění vzduchu	do 0,5 m.s-1
Vzdálenost IR termokamery od objektu	do 1m



Obr. 19 Spektrum rychlostí vibrací ložiska L4, vertikální směr [autor]



Obr. 20 Obálka zrychlení ložiska spojovacího hřídele L4 s vyznačením otáčkové frekvence [autor]

Ventilátor 3 - technický stav NEPŘIJATELNÝ

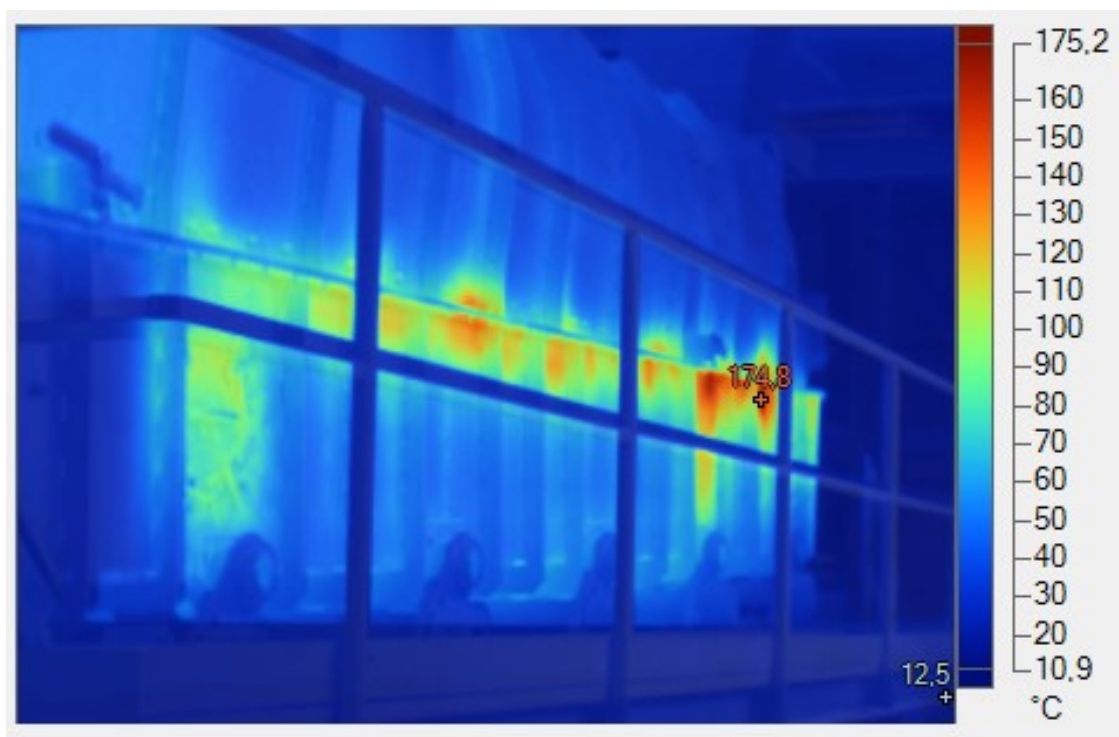
Vibrace elektromotoru a spojovacího hřídele nejsou v doporučených hodnotách. Je třeba brát v úvahu, že celý ventilátor je ovlivňován vibracemi od třasadla, které se přenáší podlahou. Vzhledem k tomu, že vibrace jsou ovlivněny pohybem celého zařízení, nelze je brát zcela za směrodatné, ale i přesto se v signálu vyskytují děje, které by poukazovaly na problém technického rázu. Na Obr. 19 je vidět spektrum rychlosti vibrací L4 ve vertikálním směru, zde je možné pozorovat peak na frekvenci 18 Hz. Tato frekvence odpovídá pohybu třasadla, které se nachází v blízkosti zařízení. Jedná se tedy o přenos podlahou. Na Obr. 20 je vidět spektrum obálky zrychlení, zde je možné pozorovat řadu špiček, které lze přiřadit ložiskovým frekvencím, které zpravidla leží na násobcích otáčkové frekvence. Tento jev by poukazoval na problémy s vůlí a uložením ložiska. Z termografických snímků lze vidět, že ložisko L4 se velmi hřeje, na rozdíl od ložiska L3 a snímky tedy potvrzují diagnózu.

DOPORUČENÍ – Naplánovat výměnu ložiska L4, kontrola uložení ložiskového domku L4.

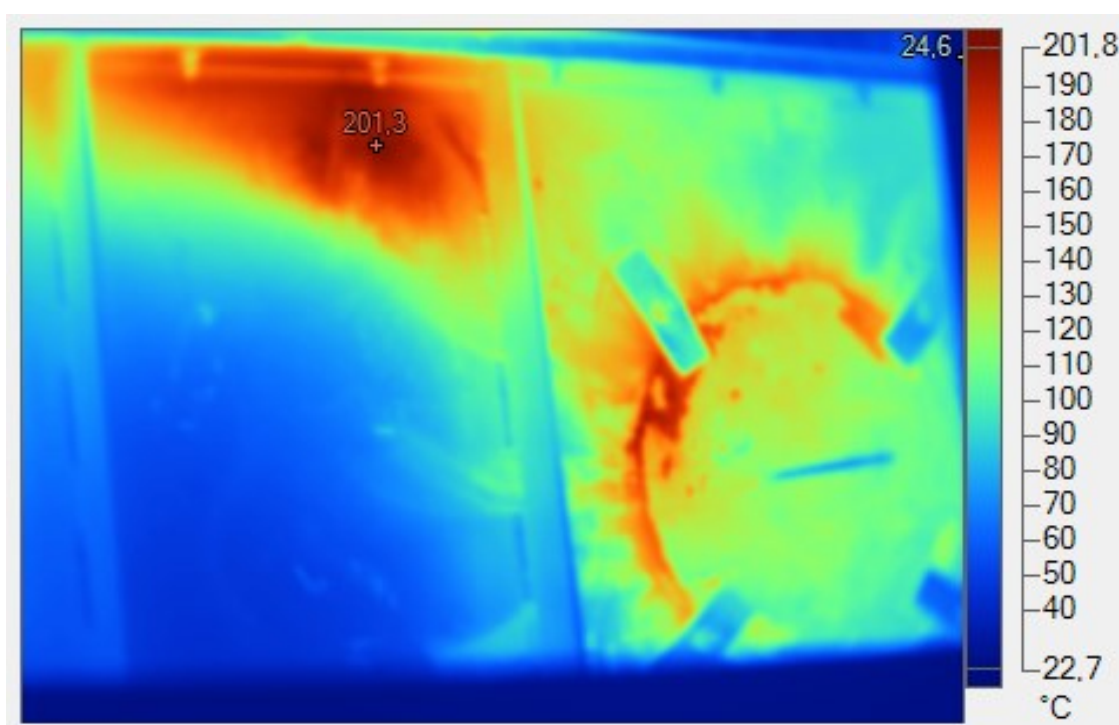
7.1.5 Kalcinační pec



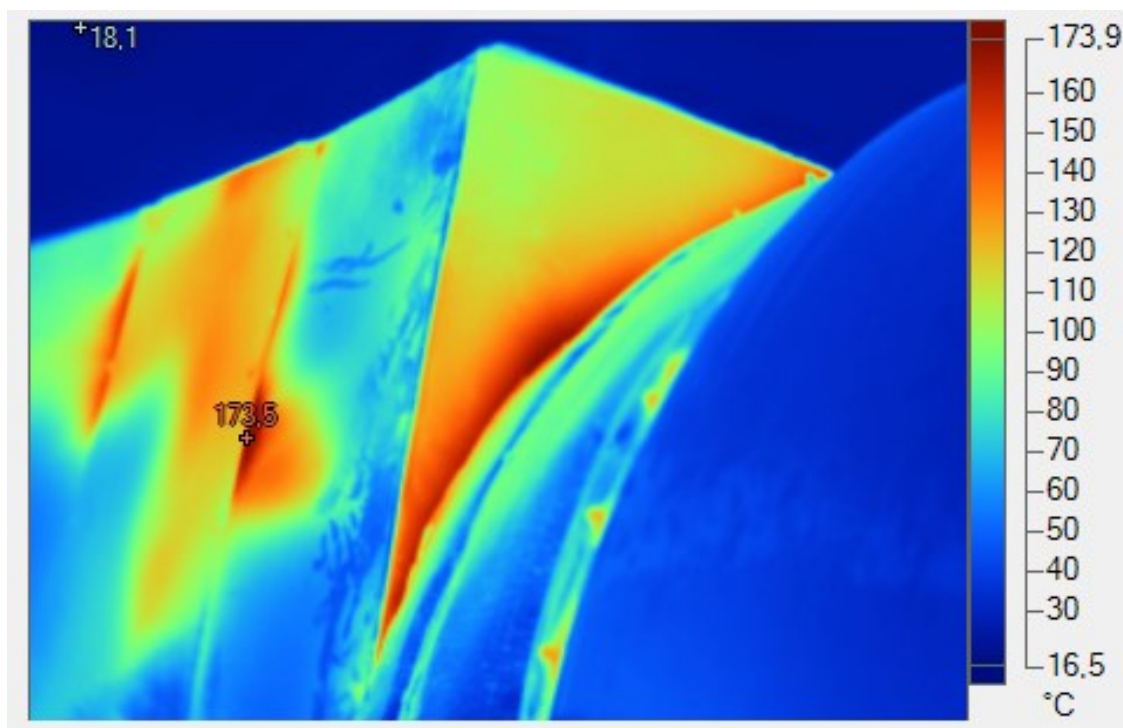
Obr. 21 Pohled na kalcinační pec [autor]



Obr. 22 Termografický snímek kalcinační pece [autor]



Obr. 23 Termografický snímek kalcinační pece [autor]



Obr. 24 Termografický snímek kalcinační pece [autor]

Tabulka 10 Informace o termografickém obrázku (kalcinační pec) [autor]

Odražená zdánlivá teplota	27°C
Emisivita	0,96
Přenos	0,99
Teplota ovzduší	18°C
Relativní vlhkost	48%
Rychlost proudění vzduchu	do 0,5 m.s-1
Vzdálenost IR termokamery od objektu	do 2m

Kalcinační pec - **technický stav VYHOVUJÍCÍ**

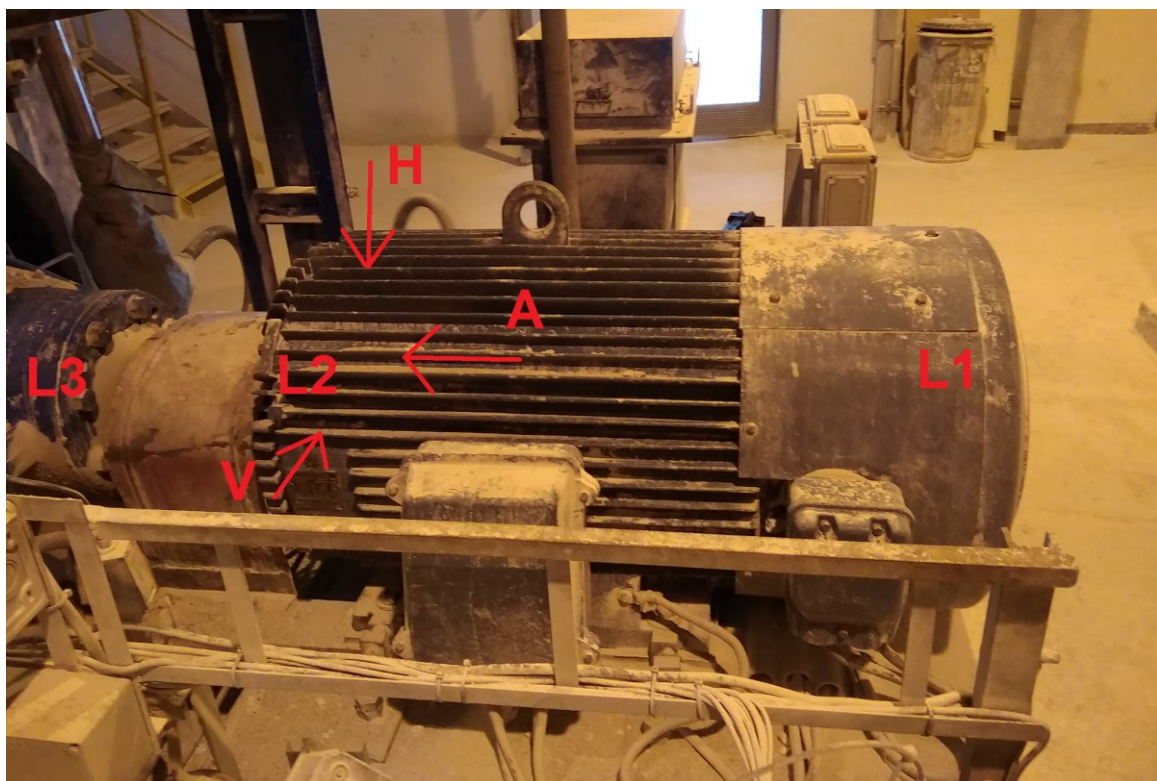
Na termografických snímcích kalcinační pece můžeme vidět několik míst, kde je problém s izolací. Takovéto poškození nemusí mít konečný vliv na správnou funkci strojního zařízení, ale může ohrozit obsluhu stroje.

DOPORUČENÍ – Kontrola izolace kalcinační pece.

7.2 Hala KTM

V této hale se nachází drtič. Výsledný oxid vápenatý se před dopravou z pece do sila obvykle drtí, mela a třídí. Ze sila se poté pálené vápno dodává konečnému uživateli. Byl zde měřen jeden elektromotor a jeden pohon drtiče.

7.2.1 Elektromotor Sue355M6

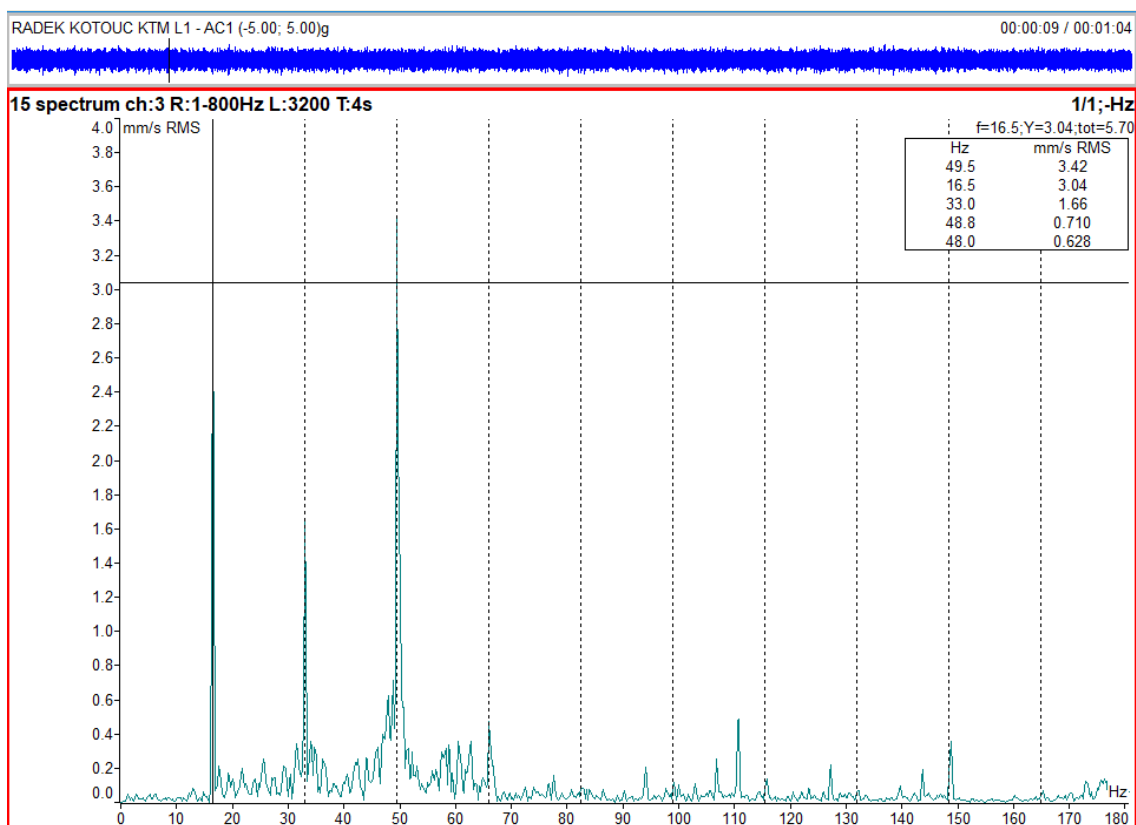


Obr. 25 Pohled na motor Sue355M6 [autor]

Elektromotor Sue355M6 o výkonu 160 kW a otáčkách 1480 ot/min. Vibrace soustavy byly měřeny 18. 3. 2019.

Tabulka 11 Naměřené hodnoty elektromotoru Sue355M6 [autor]

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (vRMS) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (aRMS)				
Popis		Motor		Spojovací hřídel
Měřicí místo		L1	L2	L3
Veličina	Směr			
Max. ot/min		985		985
vRMS [mm/s]	V	2,9	4,4	2,6
	H	3,2	4,6	2,2
	A	7	4,9	2,1
aRMS [g] 500 – 25600 Hz	V	0,65	0,8	0,2
	H	0,22	0,49	0,24
	A	0,18	0,44	0,54
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží



Obr. 26 Spektrum rychlosti vibrací L1, axiální směr [autor]

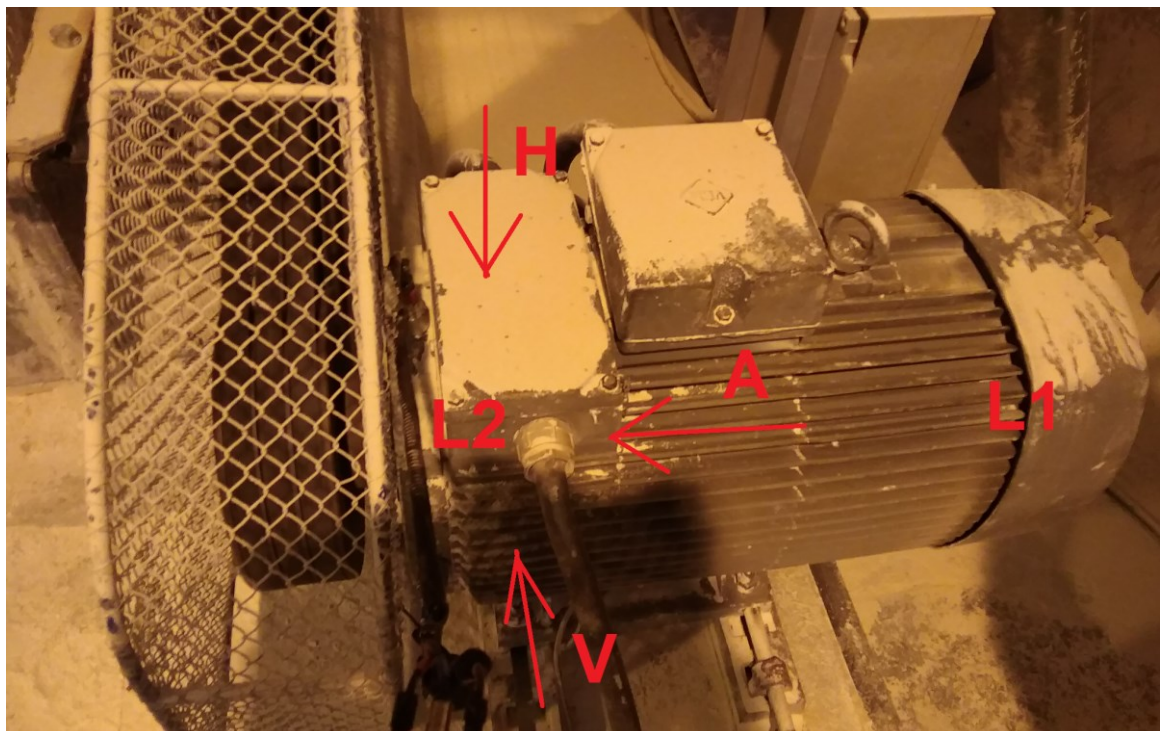
Elektromotor 1 - technický stav ZHORŠENÝ

Z tabulky naměřených hodnot můžeme vidět v místě L1 zvýšené hodnoty vibrací. Tyto hodnoty jsou v pásmu C, kde je dlouhodobý provoz elektromotoru neuspokojivý. Uvádím obrázek frekvenčního spektra (Obr. 26) z axiálního směru. Z frekvenčního spektra můžeme vidět, zvýšené hodnoty vibrací motoru a hnaného zařízení, která se projevuje na prvním (16,5 Hz), druhém (33 Hz) a třetím (49,5 Hz) násobku otáčkové frekvence. Tento jev by poukazoval na problém s úhlovou nesouosostí.

- Došlo k měření jen několika míst. V době měření došlo k technologickému vypnutí stroje.

DOPORUČENÍ – Naplánovat odstávku zařízení a ustavení motoru.

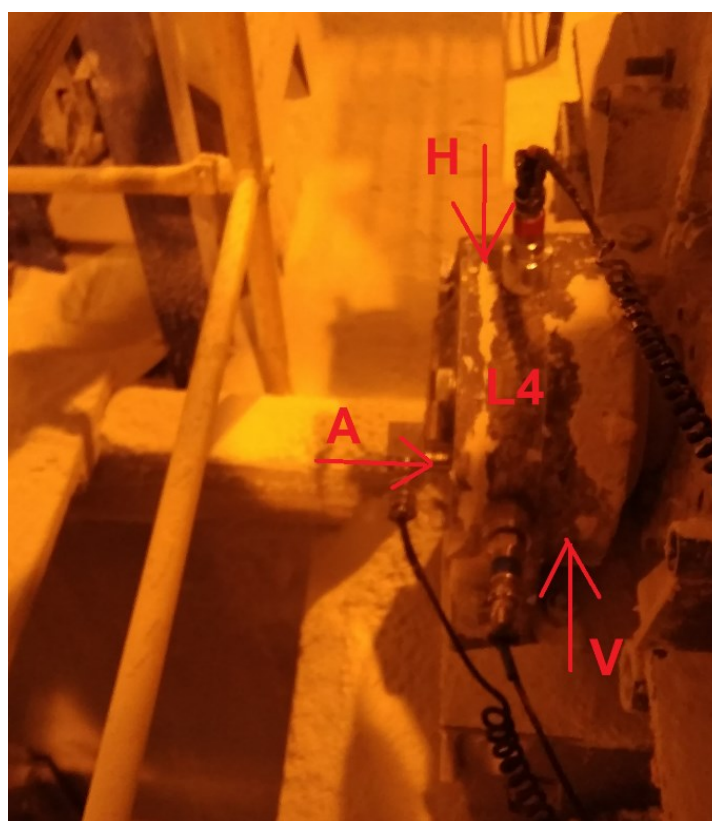
7.2.2 Pohon drtiče



Obr. 27 Pohled na pohon drtiče [autor]



Obr. 28 Pohled na měřící místo pohonu drtiče, ložisko L3 [autor]

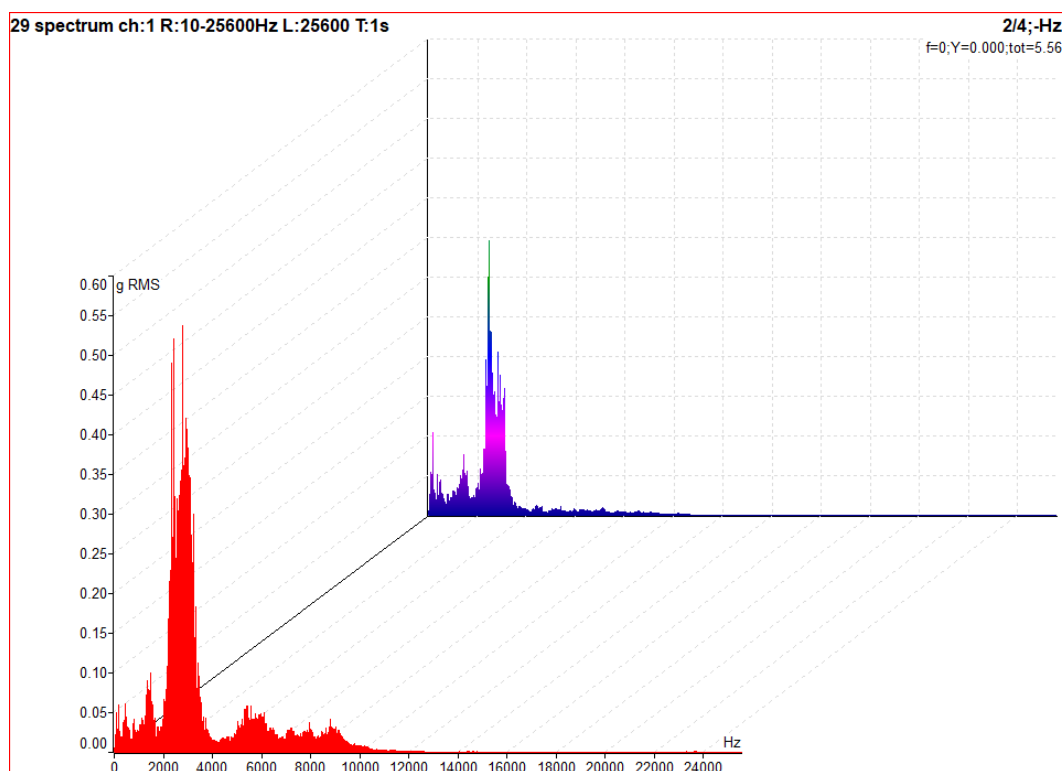


Obr. 29 Pohled na měřící místo pohonu drtiče, ložisko L4 [autor]

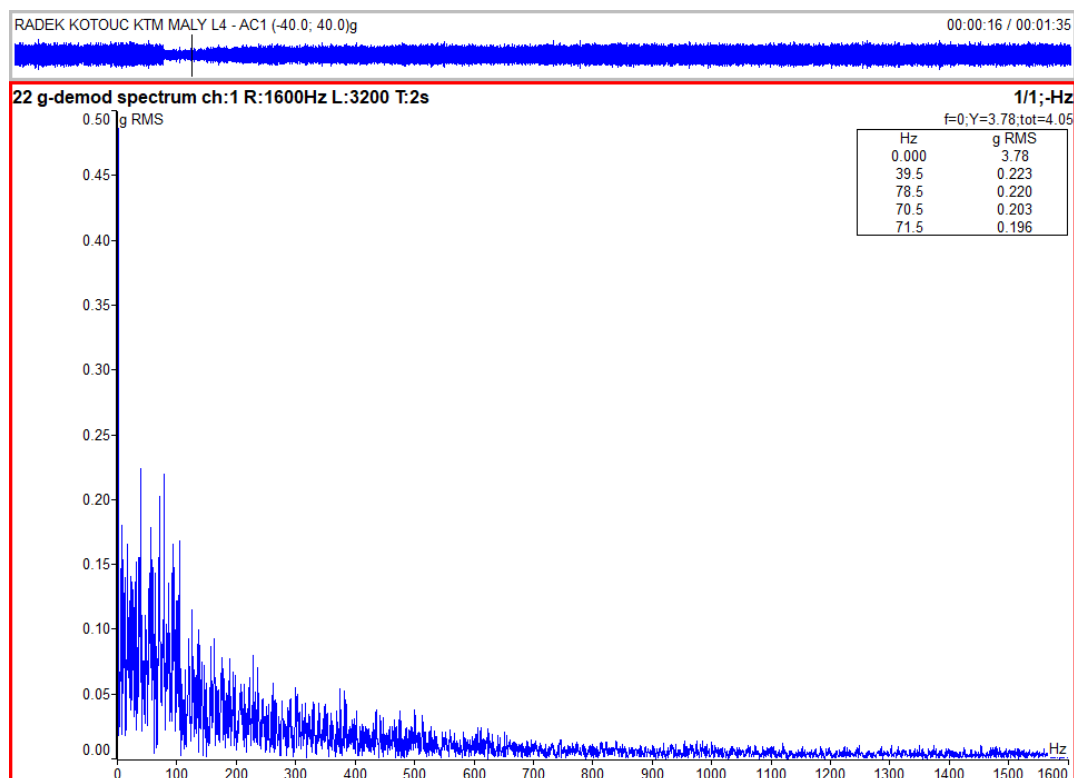
Jako pohon drtiče slouží elektromotor neznámé značky (nelze přečíst štítek) o otáčkách 1480 ot/min. Vibrace soustavy byly měřeny 18.3.2019.

Tabulka 12 Naměřené hodnoty pohonu drtiče [autor]

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz (vRMS) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz (aRMS)						
Popis		Motor		Drtič		Drtič
Měřící místo		L1	L2	L3	L4	L4
Veličina	Směr					
Max. ot/min		1480		1480		
vRMS [mm/s]	V	4,15	3,5	3,82	3,5	3,5
	H	1,4	2,1	7,4	6,8	6,3
	A	6,1	2,1	8,7	10,4	11,7
aRMS [g] 500 – 25600 Hz	V	0,5	0,8	3,4	5,25	2,4
	H	0,2	0,38	0,73	0,58	0,28
	A	0,14	1,1	2,9	3	1,4
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží	se zátěží	bez zátěže



Obr. 30 Spektrum zrychlení vibrací se zátěží (červené spektrum) a bez zátěže (modré spektrum) [autor]



Obr. 31 Obálka zrychlení ložiska spojky L4 [autor]

Pohon drtiče – technický stav ZHORŠENÝ

Vibrace elektromotoru a spojky jsou v doporučených hodnotách. Ve spektrech nebyly objeveny amplitudy související s poruchou zařízení. Vzhledem k tomu, že vibrace jsou ovlivněny technologickým procesem mletí, je třeba mít na zřetel, že projevy některých poruch mohou být zvláště v počátku zakryty od šumů pocházejícího z tohoto procesu. I přesto se nevyskytují v signálu děje, které by poukazovaly na problém technického rázu. Na ložisku L3 byl zjištěn problém s víčkem, po případě s těsněním. Víčko se pohybovalo volně po hřídeli. Měřicí bod L4 se podařilo změřit bez zátěže. Je tedy možné porovnat hodnoty se zátěží a při mírném omezení šumu z mlecího procesu. (Obr. 30) Můžeme zde vidět pokles hodnoty zrychlení vibrací až o polovinu. Předpokládám tedy, že hodnoty vibrací jsou vyhovující. Tudíž ložisko L4 bude v dobrém stavu.

DOPORUČENÍ – Kontrola víčka u ložiska L3.

8. Závěr

Cílem této práce bylo aplikovat metody technické diagnostiky na vybraných zařízeních v provozu Kotouč Štramberk – LB Cemix, s.r.o. Zde byly měřeny strojní zařízení pro zpracování a dopravu vápence. Na strojních zařízeních byla provedena vibrodiagnostika a při druhém měření byly pořízeny termografické snímky pro potvrzení získaných závěrů za použití termokamery. Následně byla získaná data rozdělena do hraničních hodnot.

První část bakalářské práce se zaměřuje na zpracování rešerší v oblasti údržby a uvedení do problematiky vibrodiagnostiky, termodiagnostiky. V první části je popsána údržba a rozdělená do jednotlivých typů. Kapitola vibrodiagnostiky a termodiagnostiky se zaměřuje především na seznámení s problematikou a měřenými veličinami, jako je rychlost a zrychlení vibrací, vysvětlení FFP, volba vhodných měřících míst a měření teploty pomocí termokamer.

Praktická část této práce se zaměřuje na zhodnocení stavu měřených zařízení. Měřeno bylo provedeno ve dvou halách. Hala s kalcinační pecí a hala KTM. Celkem bylo měřeno šest strojních zařízení a celkový stav izolace kalcinační pece. Z těchto měřených zařízení byly tři po zhodnocení ve stavu VYHOVUJÍCÍ. Technický stav Ventilátoru 1, Elektromotoru 1 a pohonu drtiče byl vyhodnocen jako ZHORŠENÝ. Na těchto strojních zařízení byl nalezen problém s mazáním, ustavením motoru a uvolněným guferem. Technický stav Ventilátoru 3 byl vyhodnocen jako NEPŘIJATELNÝ. Ložisko ventilátoru L4 je v dezolátním stavu a je doporučeno naplánovat odstávku zařízení a vyměnit ložisko L4.

9. Seznam použité literatury

- [1] HELEBRANT, František. Technická diagnostika a spolehlivost. IV. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1690-6.
- [2] ČSN EN 13306. *Údržba – terminologie údržby*, 2011. 26 s.
- [3] Vibrodiagnostika Kateřina Jandová. - ppt stáhnout. SlidePlayer - Nahrávejte a Sdílejte své PowerPoint prezentace [online]. Copyright © 2018 SlidePlayer.cz Inc. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2451935/>.
- [4] HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. Technická diagnostika a spolehlivost II. Vibrodiagnostika. Ostrava : VŠB - Technická univerzita, 2004. 178 s. ISBN 80-248-0650-9.
- [5] BLATA, Jan a Janusz JURASZEK. Metody technické diagnostiky: teorie a praxe = Metody diagnostyki technicznej : teorie a praktyka. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013. 134 s. ISBN 978-80-248-2997-5.
- [6] BLATA, Jan. Manuál pro výuku: Vibrodiagnostika strojních zařízení. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013. 24 s.
- [7] PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: http://www.340.vsb.cz/doc/cms_library/provoz-diagnostika-audrzba-stroju-189.pdf
- [8] Termokamera.cz [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/chyby-a-omyly-pri-mereni-termokamerou/>
- [9] RŮZNÉ DRUHY TERMOGRAFIKÝCH ZAŘÍZENÍ [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.ebmag.com/media/k2/items/cache/88f398a0525f174845318273ad0382cd_XL.jpg
- [10] ADASH [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://adash.com/documents/A4400/Adash-A4400-VA4-Pro-manual-cz.pdf>
- [11] Ti55FT [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.fluke.com/en-us/product/thermal-cameras/ti55ft>
- [12] ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [13] BREF-CEMENT VÁPNO [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecistení/referencni-dokumenty-bref/2016/12/BREF-Cement-vapno_konecny.pdf

10. Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1 Průběh Vanové křivky [5].....	13
Obr. 2 Příklad harmonického kmitání se znázorněním maximální amplitudy, střední kvadratické a absolutní hodnoty [4].....	14
Obr. 3 Znázornění časového signálu [3].....	15
Obr. 4 Ukázka Rychlé Fourierovi transformace [4].....	16
Obr. 5 Možnosti umístění snímačů na motoru [7].....	19
Obr. 6 Menu pro nastavení emisivity, odražené zdánlivé teploty a parametrů atmosféry [8].....	20
Obr. 7 Různé druhy termografických zařízení [9].....	21
Obr. 8 Přístroj na měření vibrací ADASH VA4 PRO [10].....	23
Obr. 9 Přístroj na pořízení termografických snímků [autor].....	24
Obr. 10 Pohled na měřené směry vibrací a měřící místa [autor].....	27
Obr. 11 Pohled na soustavu ventilátoru 1 [autor].....	28
Obr. 12 Spektrum zrychlení vibrací ložiska L3 [autor].....	29
Obr. 13 Pohled na soustavu ventilátoru 2 [autor].....	30
Obr. 14 Pohled na pohon třasadla kalcinační pece [autor].....	32
Obr. 15 Termografický snímek elektromotoru weg 132M-4 [autor].....	33
Obr. 16 Pohled na soustavu ventilátoru 3 [autor].....	34
Obr. 17 Termografický snímek motoru ventilátoru 3 [autor].....	35
Obr. 18 Termografický snímek spojovací hřídele ventilátoru 3 [autor].....	35
Obr. 19 Spektrum rychlostí vibrací ložiska L4, vertikální směr [autor].....	36
Obr. 20 Obálka zrychlení ložiska spojovacího hřídele L4 s vyznačením otáčkové frekvence [autor].....	36
Obr. 21 Pohled na kalcinační pec [autor].....	37
Obr. 22 Termografický snímek kalcinační pece [autor].....	38
Obr. 23 Termografický snímek kalcinační pece [autor].....	38
Obr. 24 Termografický snímek kalcinační pece [autor].....	39
Obr. 25 Pohled na motor Sue355M6 [autor].....	40
Obr. 26 Spektrum rychlosti vibrací L1, axiální směr [autor].....	41

Obr. 27 Pohled na pohon drtiče [autor].....	42
Obr. 28 Pohled na měřící místo pohonu drtiče, ložisko L3 [autor].....	43
Obr. 29 Pohled na měřící místo pohonu drtiče, ložisko L4 [autor].....	43
Obr. 30 Spektrum zrychlení vibrací se zátěží (červené spektrum) a bez zátěže (modré spektrum) [autor].....	44
Obr. 31 Obálka zrychlení ložiska spojky L4 [autor].....	45
Tabulka 1 Doporučené hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz dle ČSN ISO 10 816-3[12].....	25
Tabulka 2 Doporučené hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz pro drtič a pohon třasadla doporučené vedoucím práce.....	25
Tabulka 3 Doporučené hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500-25000 Hz doporučené vedoucím práce.....	25
Tabulka 4 Naměřené hodnoty strojní soustavy ventilátoru 1 [autor].....	29
Tabulka 5 Naměřené hodnoty strojní soustavy ventilátoru 2 [autor].....	31
Tabulka 6 Naměřené hodnoty pohonu třasadla kalcinační pece [autor].....	32
Tabulka 7 Informace o termografickém obrázku (pohon třasadla) [autor].....	33
Tabulka 8 Naměřené hodnoty strojní soustavy ventilátoru 3 [autor].....	34
Tabulka 9 Informace o termografickém obrázku (ventilátor 3) [autor].....	35
Tabulka 10 Informace o termografickém obrázku (kalcinační pec) [autor].....	39
Tabulka 11 Naměřené hodnoty elektromotoru Sue355M6 [autor].....	41
Tabulka 12 Naměřené hodnoty pohonu drtiče [autor].....	44